

# Física forense: Una oportunidad desatendida en los libros de texto

## *Forensic physics: A neglected opportunity in textbooks*

Dr. Vicente Torres Zúñiga<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup>Escuela Nacional de Ciencias Forenses, Universidad Nacional Autónoma de México

### RESUMEN

Se realizó una búsqueda en la literatura especializada en enseñanza de la física (en español e inglés) revisando ejercicios, ejemplos y otros materiales didácticos con un enfoque forense. Si bien existen artículos especializados en esta área, no se encontró un libro de texto dedicado al ámbito forense, aunque sí existe un manual de prácticas. Se revisaron 27 libros de texto de física, mediante la exploración de palabras clave del quehacer forense y examinando si el contenido particular cumplía con cuatro criterios didácticos que se considera que definen la instrucción de la física forense: 1) enfoque en problemas inversos, 2) evitar conjeturas injustificadas, 3) uso de datos verosímiles y 4) empleo de una narrativa ético-forense. Solo 12 títulos cumplieron estos requisitos, al contar con mínimo una mención concreta, pero cuatro obras presentan más de cuatro casos puntuales de física forense. Los resultados sugieren que los temas forenses están subrepresentados en los libros de texto de física, en comparación con otros quehaceres. Esto implica una oportunidad para elaborar libros especializados en este contexto, implicando utilizar un recurso pedagógico con énfasis en situaciones reales, fomentadora de ciudadanía y atractiva para los estudiantes. Esta información fortalecerá los planes de estudio de las licenciaturas en ciencia forense y carreras afines.

**PALABRAS CLAVE:** física; ciencia; forense; libros de texto; ciencia ciudadana; enseñanza.

### ABSTRACT

A search of the specialized literature on physics teaching (in Spanish and English) was made, reviewing exercises, examples, and other didactic materials with a forensic approach. Although there are technical articles in this area, a textbook dedicated to the forensic field has yet to be found, although a manual of laboratory activities exists. Twenty-seven physics textbooks were reviewed, exploring forensic keywords, and examining whether content met four didactic criteria that are believed to define forensic physics instruction: 1) focus on inverse problems, 2) avoid unjustified guesswork, 3) use of credible data, and 4) use of an ethical-forensic narrative. Only 12 titles met these requirements, having at least one specific mention. However, four works present more than four specific cases of forensic physics. The results suggest that forensic topics are underrepresented in physics textbooks compared to other subjects. This conclusion implies an opportunity to elaborate specialized books in this context, using a pedagogical resource emphasizing real situations, promoting citizenship, and being attractive to students. This information will strengthen the curricula for bachelor's degrees in forensic science and related careers.

**KEYWORDS:** physics; science; forensic; textbooks; citizen science; education

#### Correspondencia:

**DESTINATARIO:** Vicente Torres Zúñiga.

**INSTITUCIÓN:** Universidad Nacional Autónoma de México, Escuela Nacional de Ciencias Forenses.

**DIRECCIÓN:** Investigación Científica s/n, Ciudad Universitaria, Coyoacán, C. P. 04510, Ciudad de México, México.

**CORREO ELECTRÓNICO:** vicentz@gmail.com

**Fecha de recepción:** 16 de junio de 2023. **Fecha de aceptación:** 21 de septiembre de 2023. **Fecha de publicación:** 28 de septiembre de 2023.



## I. INTRODUCCIÓN

Si el objeto de estudio de la física es la naturaleza, entonces esta ciencia cuenta con una interrelación de lo más amplia entre las ramas del conocimiento. Por ello, se tienen aplicaciones de la física en campos tan diversos y divergentes como la construcción, el deporte, o bien la medicina. Además, entre todas las áreas prácticas del conocimiento existe una particular: la forense.

En general, la física forense se refiere a la aplicación de la física para auxiliar la investigación o bien a la revisión de hechos de interés para alguna autoridad judicial. El panorama de aplicaciones de la física forense puede ser muy amplio, pero por lo regular suele ser percibido solo alrededor de los temas de mecánica clásica, como el recorrido de los proyectiles a través de diferentes medios y las colisiones de los cuerpos, los cuales son útiles en periciales de balística y hechos de tránsito, respectivamente. Otros usos son menos populares, como puede ser aprovechar conceptos de óptica geométrica para descubrir fotografías falsas <sup>[1]</sup> o el estudio de los tiempos de arribo de una señal acústica para localizar el sitio donde se disparó un arma de fuego, por mencionar un par de ejemplos <sup>[2]</sup>.

Por otro lado, con el fin de mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje los libros de texto se han ajustado a perfiles profesionales específicos. Por ello, se tienen títulos de física especializados en la construcción <sup>[3]</sup>, el deporte <sup>[4]</sup> o la medicina <sup>[5]</sup>. Además, se publican libros de física con un enfoque más general y presentan ejemplos de diversas aplicaciones. En todo caso, las obras procuran que los estudiantes perciban los temas de un modo más significativo a sus inclinaciones y ocupaciones profesionales. Sin embargo, es notorio que esta oferta de perspectivas soslaya al enfoque forense. Este fenómeno se observa en el plan de estudios de varias instituciones académicas que ofrecen la licenciatura o especialidad en ciencias forenses, investigación criminal, criminalística o equivalente.

En concreto, en la asignatura obligatoria “Física Mecánica” de la Licenciatura en Ciencia Forense (LCF) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), pese a que se enfoca a un perfil especializado, omite la revisión de casos o aplicaciones puntuales. Tampoco recomienda textos de física especializados para tal quehacer <sup>[6]</sup>. Es posible que este hecho se deba a una carencia de temas, casos, ejemplos o ejercicios de física con el enfoque forense.

En este artículo se presentan los resultados de la búsqueda de temas de física forense en 27 libros de texto de física general, con o sin enfoque específico. En primer lugar, este trabajo define las características principales de la ciencia forense, el beneficio didáctico de usar temas forenses en el desarrollo de una clase y las características que debe tener. Posteriormente, se describe la literatura examinada y se presentan resultados cuantitativos y ejemplos emblemáticos de lo que puede ser un ejercicio de física forense. Se finaliza la exposición con las conclusiones de este trabajo.

## II. METODOLOGÍA

### RASGOS ESENCIALES DE LA CIENCIA FORENSE

En el sentido amplio, los conocimientos científicos aplicados que auxilian a una autoridad legal para definir el rumbo o conclusión sobre un caso concreto serán considerados parte del área de competencia de la ciencia forense. Sin embargo, ciertas características hacen *sui generis* a la ciencia forense del resto de campos de conocimiento, entre las que destacan las siguientes:

- 1) **Es un campo multidisciplinario**, pues al menos se debe interrelacionar alguna especialidad del derecho con una rama científica. Aunque en la práctica, suelen converger más de una especialidad científica en los casos de interés forense.
- 2) **Trata sobre problemas inversos**, en vista de que utiliza datos observables del presente para encontrar las causas, estados y agentes involucrados en los hechos de interés.
- 3) **Es un campo de investigación retroproyectiva**, en otras palabras, la ciencia forense trata de encontrar escenarios verosímiles que representen los hechos del pasado reciente. Disciplinas como la cosmología, la paleontología, la arqueología y la historia también discurren sobre las condiciones pretéritas que derivaron en los hechos del presente. Sin embargo, sus escalas de tiempo son mucho más antiguas que las que tratan los temas forenses, pues generalmente los problemas que le interesa resolver a una autoridad legal son relativamente recientes.

Así, en este contexto, la física es una ciencia que aporta ampliamente al quehacer forense. De injerencia directa se puede encontrar su relación con la medicina legal al

vincularse a través de la biomecánica del cuerpo humano. Por ejemplo, tanto al sufrir lesiones (v. gr., fracturas de huesos) como para ocasionarlas (v. gr., golpes desarrollados en artes marciales y otros deportes de contacto). También, se vincula con los peritajes de fallas estructurales. Algunos ejemplos representativos en la literatura pueden ser el colapso de los pasillos volados del hotel Hyatt Regency en 1981 (donde el tema particular de física puede ser equilibrio mecánico y fuerza I) [7]; el desplome del puente de Tacoma Narrows en 1940 (aquí el tema de física puede ser resonancia mecánica forzada e hidrodinámica) [8]; y la pérdida de elasticidad por descenso de la temperatura, ocasionando el desastre del trasbordador Challenger en 1986 (el tema sugerido es termodinámica y física de materiales) [9]. Ahora bien, de modo indirecto a través de la instrumentación, la física aporta al desarrollo de la ciencia forense por medio de las técnicas espectroscópicas para la identificación de sustancias, por mencionar un caso.

#### CONVENIENCIAS DIDÁCTICAS DE LA FÍSICA FORENSE

El beneficio de utilizar temas forenses para complementar el material didáctico de una clase de física no es exclusivo de un perfil determinado. En realidad, es muy ventajoso pedagógicamente para aquellos estudiantes que no se dedicarán profesionalmente a la física, pero que sí estará presente en su vida cotidiana. Entre las principales ventajas destacan:

- 1) **Es un tema cautivante.** Mostrar cómo la ciencia —y en particular la física— puede resolver un crimen es atrayente para el público general. La curiosidad generada es una razón del éxito de toda clase de productos culturales por más de un siglo. Desde las aventuras de Sherlock Holmes hasta las teleseries tipo *CSI: Vegas* han atrapado la atención al mostrar (con sus licencias ficcionales) que el pensamiento racional puede resolver el misterio que envuelve un delito.
- 2) **Permiten formar mejores ciudadanos.** Es deseable que los estudiantes comprendan los beneficios y alcances de la física para diferentes aplicaciones, en especial las relacionadas con la vida pública, que es parte de la ciencia forense. El conocimiento de la física aplicada en la investigación y dictaminación judicial permite a los ciudadanos ejercer mejor su derecho de beneficiarse del conocimiento científico, como expresa el artículo 27 de la Declaración Universal de los Derechos Humanos [10].

- 3) **Enfatiza situaciones reales.** La física es una ciencia factual, lo que implica que se auxilie de herramientas de abstracción (como pueden ser los modelos), su evaluación y mejora. En efecto, la física forense es plausible en la realidad.

#### CARACTERÍSTICAS DIDÁCTICAS DE LA FÍSICA FORENSE

Primero, se definirán los objetivos a buscar en el análisis de los contenidos de las publicaciones. Lo anterior implica establecer a qué se llamaría “un contenido didáctico con enfoque forense”. A continuación, se presentan las características:

- 1) **Enfoque de problemas inversos.** Por las peculiaridades intrínsecas de la ciencia forense, se debe establecer datos observables en el presente con el fin de obtener una condición inicial en el pasado. Esto puede implicar que se cuente con muchas soluciones o ninguna. En tal sentido, lo mejor es establecer que existe un intervalo de posibles soluciones.

Un ejemplo que incumple esta característica, porque la respuesta es una predicción comprobable en el futuro, es el siguiente: “Una cámara de video muestra solo el inicio de una persecución. Desde el mismo punto, reaccionando después de 30 segundos, un policía corre a 6 m/s tras un ladrón, quien corre en línea recta a 5 m/s. ¿A qué distancia el policía alcanzará al ladrón?”.

- 2) **Evitar datos conjeturados injustificados.** En la realidad, algunos datos pueden ser difíciles de obtener, por lo que es una tentación definir un parámetro sin mayor fundamento o razón. En general, el profesorado desea que los alumnos aprendan cómo se obtiene el conocimiento científico, por lo que deben evitar los atajos tergiversados en la obtención de información. Un ejemplo que falla con esta característica es: “Un policía alcanzó a un ladrón después de correr 20 metros en línea recta. Si el policía corrió a 6 m/s y el ladrón a 5 m/s. ¿Cuánto tiempo tuvo de ventaja el ladrón antes de que el policía iniciara la persecución?”. En este caso, las velocidades de carrera son suposiciones sin fundamento.
- 3) **Datos verosímiles.** La narrativa del material didáctico debe mostrar plausibilidad. Con el fin de forzar cálculos más cómodos, puede ser tentador inventar valores, perdiendo (para mal) el carácter factual de

la física. Así, del ejemplo anterior, si se establecieron las velocidades de carrera del policía y el ladrón en 20 y 25 m/s, respectivamente, se estarían involucrando velocidades superiores al récord mundial de carrera en 100 m planos. Esto resulta en una disonancia entre la realidad y el planteamiento.

- 4) **Narrativas éticas y forenses.** Revelar datos personales, ilustraciones violentas o detalles psico-sociales innecesarios vulneran los derechos de los implicados y además pueden trastornar a los estudiantes y amplificar el conflicto sin favorecer la solución. Si bien las minucias pueden resultar atractivas para algunas personas, también pueden ser perturbadoras para otra gente, por lo que es mejor cuidar el aspecto ético de los materiales utilizados. Es posible que se utilicen casos históricos, donde algunos pormenores sean de conocimiento público. Entonces, considérese que después de 100 años —tiempo superior a la expectativa media de vida humana— el caso puede considerarse histórico, por lo que es posible emplear un poco más de contexto para fortalecer la narrativa. Finalmente, un ejercicio no puede considerarse forense si se sustituye por masas puntuales a las personas: “Una masa puntual alcanza a otra después de recorrer 20 m en línea recta. Si la masa puntual se mueve a 6 m/s y la segunda a 5 m/s. ¿Cuánto tiempo tuvo de ventaja la segunda masa puntual sobre la primera?”. Por tanto, debe involucrar una narrativa donde se incluyan personas (p. ej., autoridades, testigos expertos, sospechosos o agraviados). Así, los materiales didácticos deben contar con una narrativa guiada por el quehacer forense y limitada por la ética. Sobre estas cuatro características se construyó la búsqueda en los libros de texto.

#### TEXTOS DIDÁCTICOS ESPECIALIZADOS EN CIENCIA FORENSE

Existen varios artículos didácticos alrededor de la física forense, aunque no suele ser denominada de tal forma, p. ej., la historia del principio de Arquímedes y la corona del rey Hierón, los trabajos criminalísticos de Rod Cross <sup>[11], [12], [13]</sup>, el video-análisis de la muerte de John F. Kennedy por Luis Walter Álvarez <sup>[14]</sup> y las publicaciones de Ernesto N. Martínez <sup>[15], [16]</sup>, por mencionar algunos trabajos. Sin embargo, son piezas que no dan forma a un libro de texto de física forense.

Por otro lado, existe el título *Solving Crimes with Physics* <sup>[17]</sup>. Lamentablemente, es una exposición más relacio-

nada con la criminalística tradicional que con la física, pues no desarrolla algún concepto, discusión o vínculo con la ciencia, por lo que carece de ejercicios o experimentos propuestos para el estudiante. De acuerdo con la Biblioteca del Congreso de EE.UU., la obra es literatura juvenil propia para educación básica (grados desde el séptimo al octavo). En fin, es una obra que no cumple con su título.

Sin embargo, el libro *Forensics with Vernier* <sup>[18]</sup> es una obra que propone 14 actividades de laboratorio, de las cuales 12 están relacionadas con física. Las actividades de laboratorio cumplen en general con las cuatro características de didáctica de física forense sugeridas en este documento.

Entonces, se encontró solo una obra que cumple con los criterios propuestos: *Forensics with Vernier*, un manual de laboratorio especializado alrededor de la física forense. Es posible que otras obras utilicen el enfoque forense, pero los contenidos están dispersos entre sus hojas, por lo que se realizó una selección y búsqueda en libros de texto de física.

#### CARACTERÍSTICAS DE LOS LIBROS DE TEXTO ANALIZADOS

La literatura educativa sobre física es extensa. Así, cada obra puede presentar diferentes niveles de especialización y extensión, además de contar con un estilo definido y dirigirse a un público objetivo, entre otros atributos. Una definición de *libro de texto* amplia —y útil para el propósito de este artículo— es afirmar que es un libro (en soporte físico o electrónico) utilizado como material didáctico para complementar alguna asignatura en un centro educativo.

Por ello, es importante que se delimite el objeto de estudio de esta investigación. En este trabajo se analizaron 27 libros publicados entre los años 1985-2020. Son obras que abarcan al menos dos ramas de la física, tales como la mecánica, la hidrostática y el electromagnetismo, entre otras. En lo general, sus exposiciones son aceptadas por la comunidad y, en términos epistémicos, implica que tratan sobre una “ciencia normal” <sup>[19]</sup>. Son obras dirigidas a un público estudiantil de un nivel previo al universitario y anterior a obtener un título de licenciatura. Los libros que cumplieron con tal descripción fueron considerados libros de texto para este estudio. Además, por razones técnicas se seleccionaron obras en formato digital PDF a las que se les pudiera realizar una búsqueda

de palabras clave en español (o su traducción en inglés, al ser pertinente). En orden alfabético, las 18 palabras clave fueron: abogado, accidente, colapso, corte, crimen, derrumbe, juez, jurado, juzgado, muerte, patrulla, perito, policía, colisión, forense, fractura, testigo experto y víctima. La selección de estas palabras clave no está vinculada a un corpus lingüístico específico. No obstante, este conjunto de términos refleja la intersección entre la física y la ciencia forense en la investigación de eventos de relevancia jurídica, especialmente en el ámbito del derecho penal, donde se emplean comúnmente palabras que identifican a los participantes en un proceso, como “policía” o “víctima”. Otros términos están relacionados con fenómenos físicos que se encuentran en libros de texto y pueden estar relacionados con eventos de interés forense, como “fractura” o “derrumbe”. Después de localizar el ejercicio o ejemplo mediante alguna palabra clave, se estudió el texto siguiendo las propiedades didácticas antes mencionadas de la física forense.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los 27 libros analizados, 15 no mostraron algún ejercicio o ejemplo de física forense [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [33], [34], pero 12 títulos cuentan con al menos un caso positivo. Cuatro obras demostraron tener entre seis y doce ejercicios o ejemplos de física forense: Serway [35], Halliday [36], Young [37] y Giancoli [38]. Si bien el conjunto de los libros de texto de física es más amplio que el estudiado aquí, se considera que esta muestra es representativa del estado actual de estas obras pedagógicas de referencia. La [Tabla 1](#) presenta los resultados desglosados, mientras que la [Figura 1](#) resume visualmente el resultado principal: el número de ejercicios/ejemplos que cumplen con todas las características

comparado con el número de ejercicios/ejemplos que cumple como mínimo con una palabra clave.

Se observó que los criterios “datos verosímiles” y “sin conjeturas injustificadas” fueron los más sencillos de cumplir, lo cual certifica la calidad de los libros de texto como obras que pretenden ser factuales. En contraste, el carácter de “problema inverso” y la “narrativa ético-forense” fueron menos comunes de encontrar. Muchos textos exponían una situación forense, pero carecían de alguna contextualización, siendo textos informativos y no ejercicios o ejemplos de trabajo. En tal sentido, un lugar común entre las obras fue presentar cómo los policías aprovechan el efecto Doppler para identificar autos que superan el límite de velocidad, aunque tal ejemplo no se expresa como un problema inverso [39, p. 254]. Ahora bien, muchos textos que fallaron en algún rubro podrían adaptarse para construir un compendio de problemas con contexto físico forense.

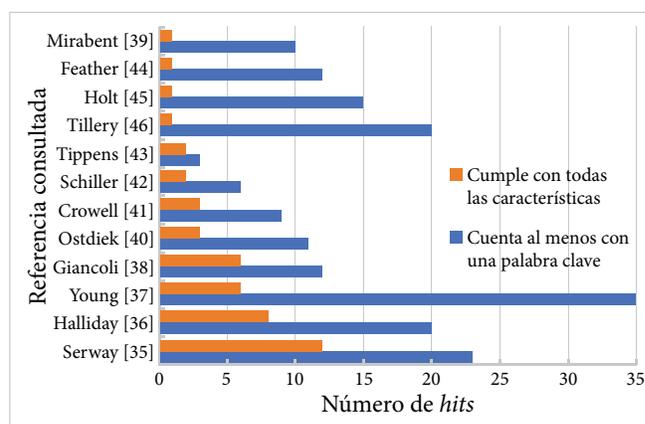


Figura 1. Comparación del número de ejercicios o ejemplos relacionados con la física forense y el número de los que cumplen con las cuatro características propuestas.

TABLA 1  
LIBROS DE TEXTO CON CASOS POSITIVOS DE EJERCICIOS O EJEMPLOS DE FÍSICA FORENSE

CLAVE Y REFERENCIA	TOTAL DE HITS	CUMPLE TODAS LAS CARACTERÍSTICAS	PROBLEMA INVERSO	SIN CONJETURA INJUSTIFICADA	DATOS VEROSÍMILES	NARRATIVAS ÉTICAS Y FORENSES
1) Serway [35]	23	12	14	20	20	14
2) Halliday [36]	20	8	10	13	14	9
3) Young [37]	35	6	7	34	35	16
4) Giancoli [38]	12	6	6	9	12	9
5) Mirabent [39]	10	1	6	10	10	1
6) Ostdiek [40]	11	3	3	11	11	4
7) Crowell [41]	9	3	3	9	9	3
8) Schiller [42]	6	2	4	6	6	2
9) Tippens [43]	3	2	2	3	3	2
10) Feather [44]	12	1	1	12	12	3
11) Holt [45]	15	1	1	15	15	2
12) Tillery [46]	20	1	1	20	20	1

Por último, la mayoría de los ejemplos identificados con narrativa forense extiende el texto, en comparación con otros problemas. Posiblemente, este fenómeno es porque los autores deseaban ganar mayor verosimilitud. Entre los ejemplos emblemáticos encontrados se destacan los siguientes tres:

- Serway, cap. 12, p. 331, problema 46: “Ha sido contratado como testigo experto en un caso que involucra una lesión en una fábrica. El abogado que lo contrató representa al trabajador lesionado. Se le dijo al trabajador que levantara un extremo de una caja larga y pesada que estaba horizontalmente en el piso y la inclinara hacia arriba para que quedara de pie. Él comenzó a levantar el extremo de la caja, siempre aplicando una fuerza que era perpendicular a la parte superior de la caja. Cuando el extremo de la caja se elevó, en cierto ángulo, la parte inferior de la caja se deslizó en el suelo, y el trabajador, al tratar de recuperarse, dio un paso adelante y la caja cayó sobre su pie, dañándolo gravemente. Como parte de su investigación, va a la fábrica y mide el coeficiente de fricción estática entre una caja y el piso de concreto liso. Usted encuentra que es 0.340. Prepare un argumento para el abogado que demuestre que era imposible levantar la caja de la manera descrita sin que se deslizara sobre el suelo”.
- Halliday-Resnick, cap. 2, p. 38, problema 13: “Suponga que lo llaman para que haga alguna recomendación a un abogado sobre la física de uno de sus casos. Se quiere determinar si un conductor rebasó la velocidad máxima de 30 mi/h antes de efectuar un frenado de emergencia, con los frenos puestos y la ruedas deslizándose. Las marcas del deslizamiento en la carretera eran de 19.2 ft de largo. El policía supuso que la desaceleración máxima no superaría la aceleración de un cuerpo en caída libre ( $= 32 \text{ ft/s}^2$ ) y no multó al conductor. ¿Iba el conductor a exceso de velocidad? Explique su respuesta”.
- Ostdiek, cap. 3, p. 112, problema 30: “En enero de 2003, un estudiante de 18 años ganó un poco de fama por sobrevivir, con sólo heridas leves, a un notable accidente de tráfico. El vehículo que conducía fue “golpeado” por otro, salió de la carretera y rodó varias veces. Fue arrojado hacia arriba desde el vehículo (no llevaba cinturón de seguridad) y terminó colgando de un cable telefónico aéreo y un cable de tierra a unos 8 metros del suelo. Los rescatistas

lo derribaron después de 20 minutos. Se estima que alcanzó una altura máxima de unos 10 metros. (a) Estime la velocidad vertical del conductor cuando fue arrojado del vehículo. (b) Si no hubiera aterrizado en los cables, ¿qué tan rápido habría ido cuando golpeó el suelo?”.

## IV. CONCLUSIONES

Este trabajo ha mostrado que, si bien existe una gama amplia de literatura sobre física didáctica aplicada en el quehacer forense —tal como artículos de divulgación y enseñanza— es un tema relativamente poco abordado en los ejercicios y ejemplos de los libros de texto, bajo el examen de las cuatro características propuestas que debe seguir la didáctica de la física forense.

Pese a que la física forense ofrece una didáctica basada en situaciones reales, atractivas y que fomenta una mejor conducta cívica, ha sido poco utilizada por los autores, por lo que el día hoy (hasta donde se sabe) se carece de un libro de texto de física forense en español o en inglés.

Consideramos que este estudio puede guiar la incorporación de este enfoque a las asignaturas de física pre-universitaria general para aquellos perfiles profesionales que no serán físicos e incluso de los primeros semestres de la licenciatura en física. Así, en el campo particular de la ciencia forense, este trabajo puede ser útil para complementar planes de estudio, así como bibliografías esenciales y recomendadas en asignaturas de física y afines.

## REFERENCIAS

- [1] Ramírez-Ornelas y Torres-Zúñiga, “Exhibiendo adulteración fotográfica vía inconsistencia física de sombras”, *Revista del Instituto Federal de Defensoría Pública*, no. 29, pp. 111-122, 2020.
- [2] Martínez y Pregliasco, “Gunshot location through recorded sound: a preliminary report”, *J. Forensic Sci.*, vol. 47, no. 6, pp. 1309-1318, 2002.
- [3] H. Nottoli, *Física aplicada a la Arquitectura*. Buenos Aires: Nobuko, 2004.
- [4] M. Lisa, *The Physics of Sports*. Nueva York, NY: McGraw-Hill Education, 2015.

- [5] P. Davidovits, *Physics in Biology and Medicine*. Londres: Academic Press, 2008. *Física Forense*, Bariloche, Argentina, pp. 49-67, nov. 2001.
- [6] Universidad Nacional Autónoma de México, *Plan de estudios de la LCF*, 2013. [En línea]. Disponible en: [http://www.cienciaforense.facmed.unam.mx/wp-content/uploads/2015/03/Primer\\_Sem\\_Plan\\_LCF\\_UNAM.pdf](http://www.cienciaforense.facmed.unam.mx/wp-content/uploads/2015/03/Primer_Sem_Plan_LCF_UNAM.pdf) (accedido: abr. 7, 2021).
- [7] G. F. W. Hauck, "Hyatt-Regency Walkway Collapse: Design Alternates", *J. Estruct. Eng.*, vol. 109, no. 5, pp. 1226-1234, 1983.
- [8] A. M. Boge y F. M. Pedersen, "The reasons for the collapse of the Tacoma Narrows Bridge and the lessons for the classroom", tesis de licenciatura, Universidad de Stavanger, Noruega, 2022.
- [9] B. Finio, "Stretch it! How does temperature affect a rubber band?", *Scientific American*, abr. 9, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.scientificamerican.com/article/stretch-it-how-does-temperature-affect-a-rubber-band/> (accedido: ag. 28, 2023).
- [10] Organización de las Naciones Unidas. "La Declaración Universal de Derechos Humanos". UN.org. <https://www.un.org/es/about-us/universal-declaration-of-human-rights> (accedido: feb. 2, 2021).
- [11] R. Cross, "Fatal falls from a height: two case studies", *J. Forensic sci.*, vol. 51, no. 1, pp. 93-99, 2006.
- [12] R. Cross, "Forensic Physics 101: Falls from a height", *Am. J. Phys.*, vol. 76, no. 9, pp. 833-837, 2008.
- [13] R. Cross, "The Chappaquiddick Incident", *Phys. Teach.*, vol. 54, no. 9, pp. 520-522, 2016.
- [14] L. W. Alvarez, "A physicist examines the Kennedy assassination film", *Am. J. Phys.*, vol. 44, no. 9, pp. 813-827, 1976.
- [15] E. N. Martínez, *La física forense en el aula*. Centro de Formación Continua, Instituto Balseiro, Centro Atómico Bariloche, 2004. [En línea] Disponible en: <https://fisica.cab.cnea.gov.ar/forense/publicaciones/for-aula.pdf>.
- [16] E. N. Martínez, "Accidentes viales: la mitología del choque", en *Memorias del Segundo Seminario Regional de Física Forense*, Bariloche, Argentina, pp. 49-67, nov. 2001.
- [17] W. Hunter, *Solving Crimes with Physics*. Hollywood, FL: Mason Crest, 2013.
- [18] J. Bonneau, *Forensics with Vernier*. Beaverton, OR: Vernier Software & Technology, 2008.
- [19] T. S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago, IL: University of Chicago Press, 1962.
- [20] J. Barojas, J. Villa, F. Cárdenas, C. Soto, M. S. Ruiz y J. Lara, *Problemario de Física I*. Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana, 1993.
- [21] H. Pérez, *Física General*. Ciudad de México: Patria, 2014.
- [22] I. K. Kikoin, *Physics in Your Kitchen Lab*. Moscú: Mir, 1985.
- [23] I. P. Herman, *Physics of the Human Body*, 2.ª ed. Cham: Springer, 2016.
- [24] P. Gluck y J. Jing, *Physics Project Lab*. Oxford: Oxford, 2015.
- [25] A. González Arias, *Problemas resueltos de mecánica para estudiantes de la educación superior*. La Habana: Universidad de la Habana, 2017.
- [26] L. C. MacDermott y P. S. Shaffer, *Tutorials in Introductory Physics*. University of Washington & Prince Hall, 2002.
- [27] F. Bueche y E. Hetch, *Física General Shaum*, 10.ª ed. Ciudad de México: McGraw Hill, 2007.
- [28] R. Muller, *Physics and Technology for Future Presidents: An Introduction to the Essential Physics Every World Leader Needs to Know*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 2010.
- [29] B. Crowell, *Discover Physics*. Studium Publishing, 2018.
- [30] College Entrance Examination Board, *AP Physics 1, Practice Workbook, Book 1*, 2009. [En línea]. Disponible en: [https://web.mit.edu/~yczeng/Public/WORKBOOK\\_1\\_FULL.pdf](https://web.mit.edu/~yczeng/Public/WORKBOOK_1_FULL.pdf) (accedido: may. 31, 2023).

- [31] L. D. Kirkpatrick y G. E. Francis, *Physics: A Conceptual World View*. Belmont, CA: Cengage Learning, 2009.
- [32] W. Bauer y G. D. Westfall, *Física para Ingeniería y Ciencias*, vol. 2, 2.<sup>a</sup> ed. Ciudad de México: McGraw-Hill Interamericana, 2000.
- [33] M. Alonso y E. J. Finn, *Física*, vol. II: campos y ondas. Pearson Educación, 1999.
- [34] P. Hewitt, *Física Conceptual*. Naucalpan de Juárez: Pearson Educación, 2011.
- [35] R. A. Serway y J. W. J. Jewett, *Física para Ciencias e Ingeniería*, vol. 1, Ciudad de México: Cengage, 2019.
- [36] D. Halliday, *Física*, Ciudad de México: Patria, 2013.
- [37] H. D. Young, *College Physics*, 9.<sup>a</sup> ed. Boston, MA: Pearson, 2012.
- [38] D. C. Giancoli, *Physics: Principles with Applications*, global ed. Pearson, 2016.
- [39] D. J. Mirabent, J. E. Llebot Rabagliati y C. Pérez, *Física para Ciencias de la Vida*, 2.<sup>a</sup> ed. McGraw Hill Interamericana de España, 2009.
- [40] V. Ostdiek y D. J. Bord, *Inquiry into Physics*, 8.<sup>a</sup> ed. Boston, MA: Cengage, 2018.
- [41] B. Crowell, *Mechanics. Light and Matter*. 2017.
- [42] C. Schiller, *La montaña del Movimiento*, vol. 1. Christoph Schiller, 2020.
- [43] P. E. Tippens, *Física Conceptos y Aplicaciones*, 7.<sup>a</sup> ed. Perú: McGraw Hill, 2011.
- [44] R. Feather *et al.*, *Glencoe Physics Science with Earth Science*. Columbus, OH: McGraw-Hill, 2005
- [45] R. A. Serway y J. S. Faughn, *Holt McDougal Physics*. Holt McDougal, 2011.
- [46] B. W. Tillery, S. J. Slater y T. F. Slater, *Physical Science*, 11.<sup>a</sup> ed. Nueva York, NY: McGraw-Hill, 2017.